

PRISE EN COMPTE DES ENVIRONNEMENTS VIBRATOIRES DANS LE PROCESSUS DE VALIDATION DES SATELLITES

J. BUFFE

Thales Alenia Space
100, Bd du Midi
B.P. 99
06156 Cannes La Bocca Cedex
Tel : 04.92.92.76.54
e-mail : jerome.buffe@thalesaleniaspace.com

RESUME –

L'objectif de cette présentation dans le cadre du Congrès Français de Mécanique est d'évoquer le périmètre que représentent les démonstrations du bon comportement fonctionnel des satellites lorsqu'ils sont soumis à des environnements vibratoires. Pour ce faire, il est important de bien assimiler ce que sont ces environnements vibratoires que les différents constituants de ces satellites vont subir tout au long de leur existence. Il est question des phases de lancement pendant lesquelles les différents lanceurs susceptibles d'embarquer les satellites vont agir. Il est question également des phases de la vie orbitale où les opérations de fonctionnalité relatives à la mission du satellite devront s'accommoder de toutes les sources génératrices d'environnements vibratoires. Mais il est fortement question, pour finir, de tous les événements vibratoires venant agresser le satellite dans sa phase au sol et ce, soit pour reproduire au mieux les environnements vibratoires des phases lancement et vie orbitale en guise de validation, soit pour valider toutes les opérations inévitables que sont les transports, manutentions et réglages.

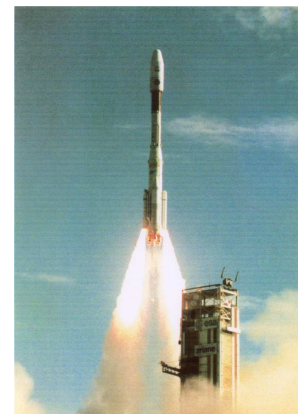


Les points les plus importants de cette présentation seront sur la faisabilité des validations, sur la nécessité de prendre en compte les critères techniques pour lesquels la notion de fiabilité et donc la notion d'analyse de risque sont à afficher, mais aussi sur les aspects financiers qui sont d'une importance de plus en plus grande pour les industriels dans le monde actuel.

La conception des satellites est fortement dépendante des missions pour lesquelles ils sont amenés à fonctionner. A titre d'exemple, des différences notables sont perceptibles

entre des satellites de télécommunication et des satellites d'observation ou scientifiques. Ceci étant, des similitudes existent assez souvent pour de nombreuses sollicitations, entre autres, pour les agressions de la phase lancement.

Parmi les environnements vibratoires, il est question de sollicitations dites « basse fréquence » qui s'apparentent à des sollicitations plus ou moins entretenues de type sinusoïdal. Ces agressions sont essentiellement d'origine lanceur et font l'objet de justifications de découplage fréquentiel et de validations de bon comportement en réponses vibratoires, soit sous forme de prédictions analytiques en opérant des analyses couplées avec les autorités lanceurs soit sous forme de campagnes de vibrations sur pot vibrant pour recréer ces environnements équivalents. D'autres sollicitations dans des plages de fréquences plus élevées dites « moyennes fréquences » sont à regarder de près. Ces agressions sont en grande partie générées par l'environnement acoustique pendant la phase lancement et les mêmes justifications sont nécessaires soit encore par des approches analytiques soit par des campagnes de validation en chambre acoustique réverbérante. Enfin, des sollicitations à « hautes fréquences » sont potentiellement dommageables pour l'intégrité fonctionnelle du satellite avec des agressions de type chocs, ces chocs pouvant être générés par les séparations internes aux lanceurs, lors des séparations lanceur/satellite ou par les séparations internes nécessaires au bon fonctionnement du satellite. Ces agressions de chocs sont dans la grande majorité des cas des validations de type essais avec les difficultés de représentativité que ceux ci peuvent avoir par rapport aux environnements réels.



Sur des systèmes spatiaux de haute performance en termes de visée optique ou de qualité d'image, les sollicitations de micro vibrations sont à regarder de près car elles sont génératrices de pertes de stabilisation préjudiciables à la mission.

Une des principales missions dans le métier de responsable mécanique sur un projet de satellite est justement d'apporter la justification du bon comportement fonctionnel du satellite pendant et après l'application des sollicitations mécaniques décrites précédemment. L'une des principales difficultés est d'apporter cette confiance technique au travers d'un processus complexe appelé plan de développement tout en rentrant dans un objectif de performance économique draconien bien connu dans le domaine industriel. Cette construction du plan de validation est l'aboutissement d'une optimisation technico économique qui doit être construite à partir de paramètres plus ou moins difficiles à déterminer. Dans le monde des satellites, certaines validations ne peuvent pas se faire par essai (présence de la gravité, vide spatial, combinaison d'agressions non reproductibles au sol, ...). D'autres ne peuvent pas se réaliser par un processus analytique (problèmes de méthodes, modélisations non réalistes, ...). La

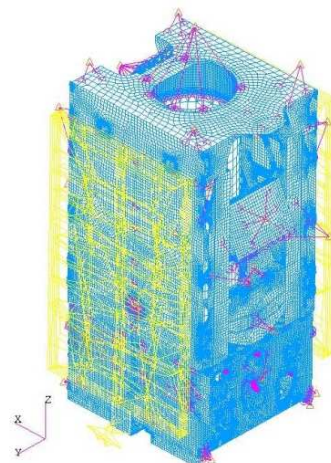
majorité des validations sont de plus ou plus questionnables sur le plan du compromis technico économique et des choix pertinents sont à faire dans cette optique là. La complexité des validations est amplifiée par la nécessité de valider par sous-ensembles voire jusqu'au niveau des composants et des pièces élémentaires, tout en sachant que l'assemblage pose toujours des interrogations sur sa validation. A ce propos, la notion de pyramide de validation par essais est intéressante et mérite une attention particulière dans son utilisation. De même, des pyramides de validation par analyses peuvent être envisagées dans certains cas.

Une remarque importante est à faire sur cette question car il est de plus en plus nécessaire de bien appréhender la pyramide de validation depuis que la variabilité des caractéristiques des composants ou des pièces élémentaires semble s'accroître. En effet, les industriels, y compris dans le monde du spatial, sont confrontés à des variabilités plus importantes que dans le passé sur les caractéristiques des produits rencontrés sur le marché. Ceci doit être pris en compte dans les validations tant sur le plan des justifications par analyses que sur le plan des justifications par essais, d'une part au travers des hypothèses des modélisations et d'autre part sur le choix et le nombre de spécimens à tester.

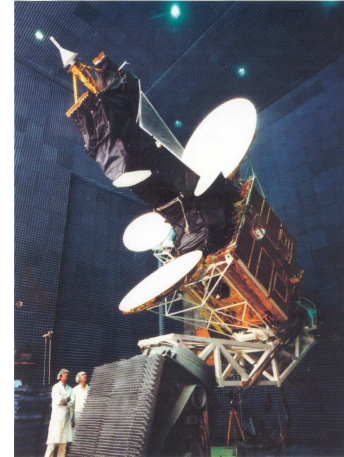
Dans le cadre de la construction du plan de développement, il est proposé de bâtir une matrice de validation dont l'objectif est d'afficher toutes les solutions de démonstration de la validation fonctionnelle et d'en extraire le meilleur choix au sens technico économique du terme. Bien évidemment, les deux axes majeurs qui constituent cette matrice utilisent d'un côté le processus analytique et d'un autre côté les essais, que ce soit au niveau élémentaire ou au niveau satellite. Bien d'autres considérations sont à intégrer dans cette proposition de matrice de validation, compte tenu de la très grande diversité des configurations d'essais (axes à tester en vibrations, essais statique représentatif des combinaisons de poussée lanceur et de résonances dynamiques locales, utilisation de réservoirs vides ou pleins, niveaux de représentativité par rapport à la configuration vol, ...). Toutes les questions qu'un déroulement de projet classique vis à vis des validations par essais ne peuvent trouver des réponses correctes que par la construction et la pertinence des matrices de validation.

Un autre point est à signaler sur la pertinence des notions de marges de sécurité dans le cas d'un processus de validation par analyse et des notions de qualification dans le cas d'un processus de validation par essai. Dans le monde du spatial et plus particulièrement de celui des satellites, des normes sur ce plan ont été créées et il est important de dire qu'elles sont à associer avec des hypothèses plus ou moins maîtrisées.

Pour le processus analytique, il est nécessaire d'avoir une connaissance des paramètres influents dans la validation, ce qui revient à en apprécier les lois de distribution pour une optimisation optimale dans les modélisations et les analyses. En association à ces hypothèses, les valeurs admissibles méritent aussi une très bonne connaissance pour pouvoir être comparées aux valeurs prédites. A ce stade de l'analyse, la justesse des coefficients de sécurité analytique classiquement proposés est plus ou moins valable.



Pour le processus par essais, c'est la connaissance de la variabilité des paramètres intrinsèques au produit testé qui est nécessaire. En découle la philosophie du choix du spécimen ou des spécimens à tester pour valider le concept. Comme pour les analyses, la justesse du coefficient de qualification classiquement proposé est également plus ou moins valable.



Dans ce contexte, une vision pertinente est nécessaire sur les concepts proposés et leur robustesse vis à vis des analyses de risques sur l'objectif final de la fonctionnalité du satellite. A ce propos, compte tenu de la complexité croissante des situations rencontrées sur les validations des conceptions au regard des agressions vibratoires, des sensibilisations sont mises en œuvre et des axes de développement sont envisagés sur certains thèmes. Parmi ces quelques idées de développement, il nous semble important de retenir quatre thèmes majeurs qui sont l'utilisation des matrices de validation pour répondre aux interrogations d'optimisation des plans de développement, l'utilisation des approches analytiques favorisant la prise en compte des variabilités dans les concepts à des fins de quantification de probabilité de défaillance, l'optimisation dans les concepts en utilisant sciemment des systèmes non linéaires sous réserve d'en maîtriser le comportement et enfin la prise en compte des notions de robustesse dans les choix des concepts pour améliorer les performances technico économiques des produits finaux.